

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФАЗ СПЛАВА Al-50%Sn МЕТОДОМ НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ

Константинов А.Н.¹, Шишкина Е.В.²

Научный руководитель: Чикова О.А.² – профессор, д.ф.-м.н.

¹Уральский государственный педагогический университет,
г. Екатеринбург, Россия, himcity@mail.ru

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, chik63@mail.ru

Система Al-Sn имеет диаграмму состояния эвтектического типа, а сплавы Al-Sn характеризуются тенденцией к расслоению на две фазы – раствор олова в алюминии и эвтектику [1-2]. Микроструктура сплава Al-50вес.(18,5ат.)%Sn представляет собой глобулярные области α -раствора, окруженные прослойками эвтектики (рис. 1). Сплав Al-50%Sn применяется в производстве титановых сплавов в качестве лигатуры [3]. Использование лигатуры Al-50%Sn предполагает ее прокатку с водяным охлаждением, что часто сопровождается отбраковкой металла из-за расслоения по границам раздела фаз. Ранее экспериментально установлено, что повышение температуры нагрева металлической жидкости до 1150 °С, радикально понижает склонность лигатуры Al-50%Sn к расслоению при прокатке [3]. Также высказано предположение, что на склонность сплава Al-50%Sn к расслоению при прокатке может влиять скорость охлаждения слитка и микродобавки некоторых химических элементов, например титана и циркония.

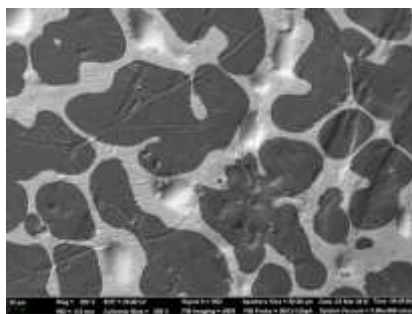


Рис. 1. Микроструктура сплава Al-50%Sn

Автор предположил, что при деформировании двухфазного сплава Al-50%Sn возникает дополнительное давление, обусловленное различием модулей упругости матрицы фаз и предложил провести оценку возникающих механических напряжений в рамках элементарных представлений математической теории упругости [4]:
$$P_r = \frac{4\epsilon\mu_0}{R(2\mu_0 + \mu(\chi_0 - 1))},$$

где $\varepsilon = \frac{F}{4\pi R^2} \left(\frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_2} \right)$; $\chi_0 = \frac{\lambda_0 + 3\mu_0}{\lambda_0 + \mu_0}$; λ и μ - постоянные Ляме, R - радиус

включения; F - внешнее усилие. Индекс «0» относится к характеристикам включения. Предварительные расчеты показали, что дополнительное давление, обусловленное различием модулей упругости матрицы и включения, может превышать внешнее усилие в сотни раз и служить причиной разрушений слитка при прокатке [5]. Для выполнения расчетов необходимы экспериментальные данные о модуле Юнга фазовых составляющих сплава Al-50%Sn, которые могли быть получены методом непрерывного измерительного наноиндентирования [6] предполагающий проведение механических испытаний в микрообъемах.

В данной работе методом наноиндентирования измерен модуль Юнга фаз сплава Al-50%Sn для образцов, полученных различными способами: традиционным способом, при повышенной до 1150 °С температуре нагрева жидкого металла, увеличенной до 4 °С/с скорости охлаждения образца и при добавке в бинарный сплав 0,06%Ti или 1%Zr. Именно такими способами на практике пытаются уменьшить склонность слитка Al-50%Sn к расслоению при прокатке. Измерения проводили с помощью Наносклерометрического модуля Зондовой НаноЛаборатории NTEGRA (НТ-МДТ, Зеленоград, Россия [7]) в ЦКП «Современные нанотехнологии» ИЕН УрФУ. Обработка и анализ полученных СЗМ-изображений проводились с помощью программных средств Nova (НТ-МДТ, Зеленоград, Россия) и SPIP (Image Metrology, Дания). При проведении эксперимента применялся зондовый датчик типа Probe V-S-10-NOVA, в качестве рабочей части которого используется алмазная призма Берковича. Отпечатки индентора измерялись по результатам пк-СЗМ (полуконтактной СЗМ).

Результаты измерений представлены в Таблице 1. Установлено, что наиболее существенное влияние на значение модуля Юнга фаз сплава Al-50%Sn оказывает повышение до 1150 °С температуры нагрева металлической жидкости и введение в расплав Zr. Проведена оценка возникающих механических напряжений, обусловленных двухфазностью образца Al-50%Sn: эвтектики и α -Al. Расчет показал, что дополнительное давление, обусловленное различием модулей упругости матрицы и включения, у гомогенизированного образца в 9 раз меньше, чем у реперного, закалка наоборот увеличивает дополнительное давление в 6,5 раза. Даже предварительная гомогенизация образца не спасает положение – наблюдается увеличение давления в 4,6 раза. Добавки титана исправляют ситуацию – уменьшение давления по отношению к реперу в 1,5 раза, циркония – в 3 раза. Авторы предполагают, что именно дополнительное давление, обусловленное двухфазностью образца Al-50%Sn, и послужило причиной его разрушения при прокатке.

Таблица 1. Модуль Юнга (Е, ГПа), доля упругой составляющей деформации (r,%) и твердость (НМ, ГПа) фаз сплава Al-50%Sn

Способ получения образца	Твердый раствор Sn в Al			Эвтектика		
	r, %	Е, ГПа	НМ, ГПа	r, %	Е, ГПа	НМ, ГПа
$T_H=700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{охл}}=0,2\text{ }^{\circ}\text{C/c}$	3,3	$68,88\pm5,10$	$0,73\pm0,07$	-	$97,93\pm4,93$	$0,51\pm0,06$
$T_H=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{охл}}=0,2\text{ }^{\circ}\text{C/c}$	6,8	$49,24\pm3,01$	$0,62\pm0,03$	0,8	$55,37\pm1,81$	$0,52\pm0,04$
$T_H=700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{охл}}=4\text{ }^{\circ}\text{C/c}$	3,7	$68,89\pm1,10$	$0,66\pm0,02$	-	$100,73\pm4,19$	$0,56\pm0,01$
$T_H=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{охл}}=4\text{ }^{\circ}\text{C/c}$	7,6	$36,56\pm0,47$	$0,69\pm0,03$	2,3	$45,22\pm1,61$	$0,65\pm0,02$
$T_H=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{охл}}=4\text{ }^{\circ}\text{C/c}+0,06\%\text{Ti}$	13,7	$68,57\pm11,59$	$0,73\pm0,07$	-	$57,26\pm3,10$	$0,55\pm0,06$
$T_H=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{охл}}=4\text{ }^{\circ}\text{C/c}+0,1\%\text{Zr}$	7,8	$39,28\pm1,76$	$0,63\pm0,06$	7,6	$35,31\pm5,93$	$0,57\pm0,05$

1. Л.Ф. Мондольфо Структура и свойства алюминиевых сплавов. Пер с англ. М.: Металлургия, 1979. 640 с.
2. Ю.С. Авраамов, И.А. Кравченкова, А.Д. Шляпин Новые антифрикционные сплавы на основе алюминия. Физика и химия обработки материалов. 2010, №2. – С. 85-88
3. Влияние температурной обработки расплава Al-Sn на структуру и свойства литого металла/ Попель П.С., Коржавина (Чикова) О.А., Мокеева Л.В. и др. // Технология легких сплавов (ВИЛС). 1989. № 4. – С. 87-91.
4. Н.И. Мусхелишвили Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966, 707 с.
5. Влияние температурной обработки расплава Al-Sn на структуру и свойства литого металла/ Попель П.С., Коржавина (Чикова) О.А., Мокеева Л.В. и др. // Технология легких сплавов (ВИЛС). 1989. № 4. – С. 87-91.
6. Ю.И. Головин Наноиндентирование и механические свойства материалов в наномасштабе (обзор). ФТТ. 2008. Т.50. №12. – С. 2113-2142
7. К.В. Гоголинский, Н.А.Львова, А.С. Усеинов. Применение сканирующих зондовых микроскопов и нанотвердомеров для изучения механических свойств твердых материалов на наномасштабе. “Заводская лаборатория. Диагностика материалов” №6. 2007 . Том 73. С. 28-36